

Ready for

>> **TAKE OFF**

Start in eine neue Dimension der Forschung mit Flugzeugen

Von Dr. Helmut Ziereis
sowie Dr. Monika Krautstrunk
und Dr.-Ing. Stefan Kommallein



Februar 2001 – „Antrag auf Beschaffung und Betrieb eines großen Forschungsflugzeugs für die Atmosphärenforschung und Erdbeobachtung – HALO“. So komplex der Titel, so umfassend die Aufgabe. Heute, knapp acht Jahre nach dem Antrag beim Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), steht die Auslieferung von HALO, einem der modernsten Forschungsflugzeuge der Welt, an das DLR kurz bevor. Acht Jahre Arbeit für HALO, das heißt: Anträge, Evaluierungen, Finanzierungskonzepte, Vertragsverhandlungen. Das heißt Bau und Umbau des Flugzeugs: Entwürfe, Konstruktion und Beschaffung von eigens hierfür angefertigten Anbauteilen. Das bedeutet: Errichtung eines Hangars, Entwurf und Bau von wissenschaftlichen Instrumenten und nicht zuletzt die Planung der Missionen. – HALO ist mehr als nur ein Flugzeug: HALO steht für ein großes Gemeinschaftsprojekt, für eine umfassende Infrastruktur, für ein wissenschaftliches System zur Atmosphärenforschung und Erdbeobachtung.



HALO kurz vor seiner Fertigstellung in Savannah (USA).





HALO-Rumpf: Mehr als 20 Öffnungen wurden in den Rumpf des Flugzeugs geschnitten, um optische Fenster und Einlasssysteme aufzunehmen. Diese Arbeiten wurden bei der Firma RUAG in Oberpfaffenhofen durchgeführt.

>> Das Flugzeug

Die G550 von Gulfstream, auf der HALO basiert, ist als Langstrecken-Businessjet konzipiert und weltweit für Geschäftsreisen und Spezialaufgaben im Einsatz. Die G550 verfügt über eine sehr große Reichweite von bis zu 12.000 Kilometern, kann bis zu 15,5 Kilometer Gipfelhöhe erreichen und bis zu drei Tonnen Material zuladen. Damit erschließt das Flugzeug der Wissenschaft neue Bereiche in der Atmosphärenforschung und in der Erdbeobachtung.

Derzeit schränkt zum Beispiel die Reichweite der gegenwärtig in Deutschland verfügbaren Forschungsflugzeuge deren Einsatz stark ein, denn interessante Messregionen auf unserem Globus sind oft nur mit mehreren Zwischenlandungen oder gar nicht erreichbar. Mit HALO rücken jedoch auch abgelegene Gebiete über den Ozeanen, selbst die Pole, in „greifbare“ Nähe. Im Vergleich zum bisherigen DLR-Forschungsflugzeug Falcon 20 werden mit HALO Reichweite, Flugzeit und Zuladung um den Faktor drei gesteigert, die erreichbare Gipfelhöhe liegt zirka 3.000 Meter höher als bei der Falcon.

>> Technik für die Wissenschaft in der Entwicklung

So außergewöhnlich und notwendig die Flugleistungen der G550 für ein Forschungsflugzeug auch sein mögen, als Träger für wissenschaftliche Experimente taugt sie damit noch lange nicht. Um als fliegende Plattform für wissenschaftliche Instrumente dienen zu können, musste die Gulfstream aufwändig innerhalb und außerhalb der Kabine modifiziert werden. Bereits im Jahr 2001 begann die Definition der für HALO gewünschten Modifikationen, in die die gesamte Erfah-

rung aus 30 Jahren Betrieb des Vorgängerflugzeugs Falcon 20 einfluss. Seitdem arbeiten Ingenieure und Wissenschaftler aus Instituten und Einrichtungen des DLR an der Entwicklung, Auslegung und Umsetzung der für den wissenschaftlichen Flugbetrieb notwendigen Modifikationen.

Auch Spezialisten von Gulfstream, zu deren täglichem Geschäft es gehört, Businessjets zu einem Special Mission Aircraft umzubauen, waren erstaunt über die Professionalität der DLR-Kollegen, beginnend bei der Definition der Umbau-Anforderungen. Die in Deutschland konzipierten Veränderungen am Flugzeug wurden teilweise bei Gulfstream in den USA und bei RUAG in Oberpfaffenhofen fertig gestellt. Der andere Teil wird nach der Übernahme des Flugzeugs durch das DLR in Eigenregie realisiert. So wurden in der Kabine Befestigungsschienen angebracht, für 15 so genannte Racks, Messgestelle, die wie Regale bis zu 150 Kilogramm schwere Instrumente aufnehmen können. Auch im „Kofferraum“ des Flugzeugs musste Platz geschaffen werden, um die wissenschaftliche Ausrüstung zu installieren. Selbst in jenem Teil des Rumpfs, der sich außerhalb der Druckkabine befindet, gibt es nun Möglichkeiten zum Einbauen von Instrumenten. Für einen Businessjet sehr ungewöhnlich, für ein Forschungsflugzeug absolut notwendig, gibt es jetzt am Rumpf und unter den Tragflächen Befestigungspunkte für das Anbringen von Fernerkundungsmessgeräten, Messsonden und einen sieben Meter langen Unterrumpfbehälter (Belly Pod), sowie von Unterflügelbehältern mit einer Länge von über vier Metern. Maßgeschneidert entwickelt und gebaut wurden diese Zusatzeinrichtungen von der Firma Aerostruktur in Gundelfingen.



Hangar: Seit Februar 2008 wird für HALO am Standort des DLR in Oberpfaffenhofen ein neuer Hangar errichtet.

Der größte Teil der Instrumente wird sich jedoch innerhalb der Kabine befinden. Praktisch berührungsfrei untersuchen Fernerkundungsmessgeräte wie Laser und Infrarotdetektoren die Atmosphäre. Dazu mussten vier große Öffnungen mit einem Durchmesser von 50 Zentimetern oben und unten in den Rumpf geschnitten werden. Diese nehmen spezielle optische Gläser für die Beobachtung auf. Zusätzlich werden vier Seitenfenster durch optische Gläser ersetzt, um die Messung nicht zu verfälschen. Mehr als 20 weitere Durchbrüche im Flugzeugrumpf können Einlässe komplexer Rohrsysteme aufnehmen, mit denen die Luft von außen zu den Instrumenten in der Kabine geleitet wird.

>> Technik für die Wissenschaft und im Betrieb

HALO erfordert für die fliegenden Besatzungen umfangreiche Einweisungen und Schulungen am Simulator. Nach dem erfolgreichen Abschluss der gesetzlichen Ausbildungsvorgaben vertiefen die Piloten bei gewerblichen Betreibern von Gulfstream-Flugzeugen im Training ihre Kenntnisse und sam-

eln weitere Erfahrung, um das Flugzeug in den anstehenden wissenschaftlichen Missionen und Flugversuchen zu beherrschen. Zwei Piloten des DLR-Flugbetriebs in Oberpfaffenhofen wurden bisher auf das Flugzeugmuster G550 geschult. Zwei weitere werden bis zum Sommer 2009 folgen.

Zur Vorbereitung gehört aber auch eine vertiefende Ausbildung im Testflugbetrieb. Derzeit bereiten sich ein Testpilot und ein Flugversuchingenieur in Kalifornien auf der National Test Pilot School in der Mojave Wüste in mehrmonatigen Lehrgängen auf die kommenden großen Flugversuchsprogramme mit HALO vor. Für den Flugbetrieb auf der Heimatbasis bedeutet das Fehlen dieser Kollegen einen höheren Planungsaufwand: Weitere Personen sind umzuschulen, personelle Unterstützung vom Flugbetrieb Braunschweig und von externen Piloten muss organisiert werden. Neben dem fliegenden Personal müssen auch das technische Personal und die Prüfer entsprechend ausgebildet werden.

HALO ist nicht nur moderner, sondern vor allem auch größer und schwerer als die anderen Flugzeuge im DLR in Oberpfaffenhofen. Das setzt natürlich andere Maßstäbe für das so genannte „Ground Support Equipment“. Das fängt an bei höheren Leitern, leistungsfähigeren Schleppern, stärkerer externer Stromversorgung und hört bei einem neuen, für HALO passenden Flugzeughangar auf. Daneben sind noch viele andere Voraussetzungen zu erfüllen: Die Dokumentation zum Flugzeug ist zu pflegen. Sonderbetriebsmittel, Spezialwerkzeuge und Ersatzteile müssen vorgehalten werden. Entsprechende Instandhaltungs- und Prüfprogramme müssen vorhanden sein.

>> Der Hangar

Eine G550 ist mit einer Länge und Flügelspannweite von jeweils knapp 30 Metern fast so groß wie ein Kurzstreckenverkehrsflugzeug. Damit ist sie zu groß für die Oberpfaffenhofener Flugzeughalle. Wenige Meter vom alten Hangar entfernt entsteht seit Februar 2008 eine neue, multifunktionale Halle für HALO. Neben der Stellfläche für das Flugzeug bietet sie Möglichkeiten, die großen Unterflügel- und den Unterrumpfbehälter aufzunehmen. Hinzu kommen Wartungseinrichtungen, Büros, Lager und natürlich auch Räume und Labore für die wissenschaftlichen Nutzer. Für jeweils mehrere Wochen werden diese hier Möglichkeiten finden, um ihre Instrumente zu präparieren, zu kalibrieren und in die Messgestelle zu integrieren.

>> Die Infrastruktur

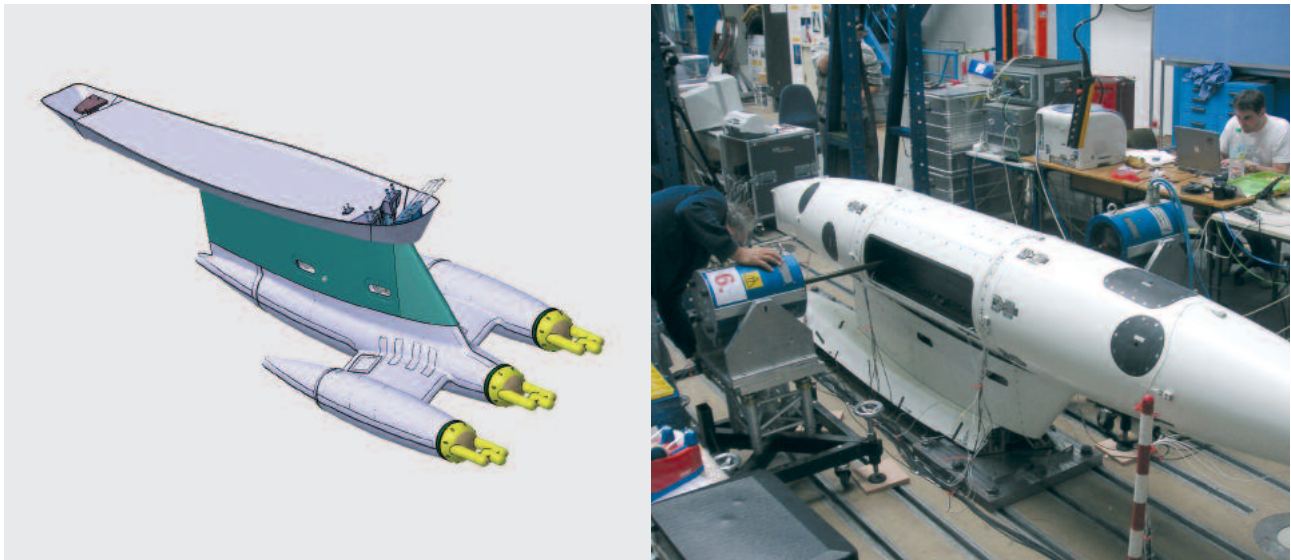
Mit der Übernahme des Flugzeugs und des Hangars ist das System HALO aber noch lange nicht einsatzbereit. Zunächst muss noch die Basisinstrumentierung in das Flugzeug integriert werden. Dazu gehören Messeinrichtungen zur hochpräzisen Druck-, Temperatur- und Windmessung. Die damit gewonnenen Daten sowie die Parameter des Flugzeugs selbst, seine Lage in Raum und Zeit werden auf einer Messanlage aufgezeichnet und den Nutzern zur Verfügung gestellt. Außenanbauten wie Unterflügel- und Unterrumpfbehälter haben Einfluss auf das Schwingungsverhalten eines Flugzeugs. Dieser Einfluss muss durch Bodenschwingungstests und durch Rechnungen untersucht werden, damit es im Flug nicht zu gefährlichen Schwingungserscheinungen – dem sogenannten Flattern – kommt. Und bevor HALO die endgültige Zulassung und Freigabe vom Luftfahrt-



Vorgänger und Nachfolger – Das Forschungsflugzeug Falcon begrüßte den neuen Versuchsträger G 550 über den Alpen auf seinem Weg zur Umrüstung nach Oberpfaffenhofen.



Blick in die offene Kabine während des Umbaus bei RUAG im Jahr 2006 – der Rumpf musste aufwändig modifiziert werden.



Die Firma Aerostruktur aus Gundelfingen entwickelt und baut für HALO die Träger für die Partikelmesssonden (links) und Unterflügelbehälter (rechts).

bundesamt erhält, sind zudem umfangreiche Flugversuche mit diesen Komponenten durchzuführen. Diese werden, verteilt auf mehrere Flugversuchsabschnitte, im Jahr 2009 erfolgen. Erst wenn diese Tests keine Beeinträchtigung des Flugverhaltens und damit der Sicherheit des Flugzeugs aufzeigen, können die Außenlaststationen für die Wissenschaft eingesetzt werden.

Normalerweise werden im Jahr 50 bis 60 Zulassungen vom Entwicklungsbetrieb für den gesamten Flugbetrieb realisiert. Allein der Betrieb von HALO erfordert für die ersten vier Demo-Missionen in den Jahren 2009 und 2010 das Zulassen von 40 Experimenten. So müssen zum Beispiel die Einbauten in der Kabine einer Beschleunigung von 9 g in Flugrichtung standhalten, ohne sich in ihre Bestandteile zu zerlegen. Eine der größten Herausforderungen des Projekts HALO ist der ambitionierte Zeitplan und dessen Realisierung mit den zur

Verfügung stehenden Mitarbeitern. HALO-Partner werden deshalb in den Zulassungsprozess integriert. Für den späteren Betrieb müssen sich alle Entwicklungs- und Musterprüfungingenieure des Entwicklungsbetriebs und ganz besonders diejenigen, die im Flugbetrieb später direkt am und mit dem Flugzeug arbeiten werden, speziell vorbereiten.

>> Die Instrumente

HALO wird der Forschung neue Möglichkeiten eröffnen. Zwar kann man auch mit Instrumenten, die bereits auf der Falcon oder anderen Forschungsflugzeugen geflogen sind, Messungen durchführen, aber das wäre wie „Alter Wein in neuen Schläuchen“. Die großen Möglichkeiten von HALO haben die Entwicklung einer ganzen Reihe neuer Messgeräte angestoßen. Millionenschwere Förderungen durch die Helmholtz-Gemeinschaft, die Deutsche Forschungsgemeinschaft und die Max-Planck-

Gesellschaft kommen der Konstruktion und dem Bau neuer Instrumente für HALO zugute.

Dazu gehört ein Wolkenradar, das unter dem Rumpf befestigt wird. Es wird unter Federführung der Universität Hamburg in Zusammenarbeit mit dem DLR in Oberpfaffenhofen entwickelt und soll unter anderem die Tröpfchengröße in den Wolken bestimmen. Das Max-Planck-Institut für Chemie in Mainz konstruiert gemeinsam mit Kollegen vom Forschungszentrum Jülich ein Messsystem, das auf laser-induzierter Fluoreszenz beruht. Damit können hochgenau die geringen Konzentrationen von Hydroxyl-Radikalen in der Luft erfasst werden. Diese chemischen Verbindungen spielen eine wichtige Rolle bei Abbaureaktionen und in den Umwandlungsprozessen in der Atmosphäre.

Das Institut für Physik der Atmosphäre des DLR in Oberpfaffenhofen steuert eine ganze Reihe neuer Messsysteme

für HALO bei: Massenspektrometer für die Messung von atmosphärischer Salpeter- und Salzsäure; Detektoren für den Nachweis von Stickoxiden, Kohlenmonoxid, Ozon und Kohlendioxid; Fernerkundungsmesssysteme, die mit Lasern Schwebestoffe, Wind, Ozon und Wasserdampf detektieren, und Sensoren, die die Größenverteilung, Anzahl und Zusammensetzung von Luft getragenen Partikeln bestimmen.

>> Die Wissenschaft

Die wissenschaftlichen Fragestellungen standen von Beginn an im Zentrum des Projekts. Sie waren die Triebfeder für HALO. So ist es auch keine Überraschung, dass bereits vor der eigentlichen Inbetriebnahme zahlreiche Missionsvorschläge unterbreitet wurden. Aus den mehr als 50 Vorschlägen hat der wissenschaftliche Lenkungsausschuss zehn Missionen als so genannte Demonstrationsmissionen ausgewählt. Neben diesen zunächst nationalen Forschungsvorhaben gibt es bereits eine Reihe von Missionen, die europäische Partner innerhalb von EU-geförderten Projekten einbeziehen.

Die wissenschaftlichen Fragen, die mit HALO beantwortet werden sollen, sind vielfältig: Wie verändert sich die Selbstreinigungskapazität der Troposphäre? Wie werden Spurenstoffe von der Troposphäre in die Stratosphäre transportiert? Welchen Einfluss hat der Flugverkehr auf die Bildung von Zirruswolken? Welche Regionen sind besonders sensitiv in Bezug auf die Bildung von Extremwetterereignissen? Aber nicht nur Themen aus dem Bereich der Atmosphärenforschung sollen mit HALO untersucht werden. Die große Reichweite und die umfangreichen Modifikationen machen HALO

auch zu einem idealen Träger für Aufgaben aus dem Bereich der Erdfernerkundung, so in der Beobachtung der Landnutzung und des Wasserkreislaufs, aber auch in der Geophysik bei der Bestimmung des Gravitations- und Magnetfelds der Erde.

>> Die Partner

HALO wird eine attraktive Plattform für den Einsatz auf dem Gebiet der Atmosphärenforschung und Erdbeobachtung werden. Im Sommer 2007 haben führende wissenschaftliche Einrichtungen aus Deutschland eine Vereinbarung über die wissenschaftliche Zusammenarbeit bei der Forschung mit HALO geschlossen. Dadurch ist bereits vor der Inbetriebnahme die wissenschaftliche Nutzung auf absehbare Zeit sichergestellt. HALO wird auch im 7. Rahmenprogramm der EU im Projekt EUFAR (European Fleet for Airborne Research), das ab 2010 läuft, dabei sein.

Für das HALO-Team sind die Arbeiten mit der Übernahme des neuen Flugzeugs nicht etwa abgeschlossen. Eigentlich beginnen sie erst. Der erste Flug mit einer wissenschaftlichen Nutzlast ist für den Sommer 2009 vorgesehen.

Autoren:

Dr. Helmut Ziereis,
Projektleiter HALO, DLR-Institut für
Physik der Atmosphäre,
Dr. Monika Krautstrunk,
DLR-Flugbetriebe Oberpfaffenhofen,
Dr.-Ing. Stefan Kommallein,
DLR-Entwicklungsbetrieb.

Die ersten vier Demo-Missionen

>> omo

Oxidation Mechanism Observations

Max-Planck-Institut für Chemie Mainz,
Forschungszentrum Jülich

Die Selbstreinigungskraft und
Oxidationsfähigkeit der Troposphäre

>> ml-cirrus

Formation, Lifetime
Properties and Radiative/Chemical Impact
of Mid-Latitude Cirrus Clouds

DLR Oberpfaffenhofen

Bildungsmechanismen von Zirren und ihre
Bedeutung für das Klima
Einfluss des Flugverkehrs auf die Bildung
von Eiswolken

>> polstracc

The Polar Stratosphere in a Changing Climate

Forschungszentrum Karlsruhe

Auswirkungen des sich wandelnden Klimas auf
den Ozonabbau in der arktischen Stratosphäre

>> tacts

Transport and Composition in
the Upper Troposphere

Universität Frankfurt

Austauschprozesse von Spurenstoffen
zwischen Troposphäre und Stratosphäre

Partner

>> Deutsche Forschungsgemeinschaft

>> Max-Planck-Gesellschaft

>> Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt

>> Forschungszentrum Jülich

>> Forschungszentrum Karlsruhe

>> Leibniz Institut für Troposphärenforschung

>> GeoForschungsZentrum Potsdam